Nicolae Sfetcu

Imre Lakatos: L'heuristique et la tolérance méthodologique

Collection ESSAIS

MultiMedia Publishing

Imre Lakatos: L'heuristique et la tolérance méthodologique

Nicolae Sfetcu

15.02.2020

Sfetcu, Nicolae, « Imre Lakatos: L'heuristique et la tolérance méthodologique », SetThings (15 février 2020), MultiMedia Publishing (ISBN : 978-606-033-342-5), DOI: 10.13140/RG.2.2.30348.46729, URL = https://www.telework.ro /fr/e-books/imre-lakatos-lheuristique-et-la-tolerance-methodologique/

Email: nicolae@sfetcu.com

Une traduction de :
Sfetcu, Nicolae, « Imre Lakatos: Euristica și toleranța metodologică », SetThings (11 februarie 2019), MultiMedia Publishing (ed.), DOI: 10.13140/RG.2.2.35405.28649, URL = https://www.telework.ro /ro/e-books/imre-lakatos-euristica-si-toleranta-metodologica/

Abstract

Pour analyser les concepts d'heuristique et de tolérance méthodologique développés par Lakatos, je me suis concentré sur la section « Falsification et méthodologie des programmes de recherche scientifique », publiée pour la première fois en tant qu'article en 1970, puis dans l'ouvrage *The methodology of scientific research programmes*, Volume I. (Lakatos 1978) J'ai analysé, dans ce texte, l'exemple de l'auteur pour le programme de recherche sur l'émission de lumière (au début de la physique quantique). Un exemple détaillé des concepts est présenté par Lakatos dans la section « Effet de Newton sur les normes scientifiques » du même livre. J'ai également beaucoup fait référence à *Proofs and Refutations*, (Lakatos 1976) publié par Lakatos en 1976, dans lequel il expose sa vision heuristique par une application directe à l'évolution des mathématiques. J'ai également fait référence à des articles d'autres auteurs pour l'analyse des deux concepts dans la vision de Lakatos.

Mots-clés : Imre Lakatos, heuristique, tolérance méthodologique, programmes de recherche, science

1 Vue d'ensemble

The methodology of scientific research programmes est une révision radicale du critère de démarcation de Popper entre science et non-science, qui a conduit à une nouvelle théorie de la rationalité scientifique. Pour Popper, une théorie n'est *scientifique* que si elle est empiriquement falsifiable, c'est-à-dire si elle est possible de spécifier des énoncés d'observation qui la révéleraient faux. Une théorie est une *science bonne* si elle est réfutable, risquée, peut résoudre les problèmes et résister aux tentatives successives de la rejeter. Elle doit être hautement falsifiable, bien testée, mais (jusqu'à présent) non falsifiée. Lakatos objecte que si le critère de Popper est relativement correct, il est trop restrictif car il exclurait trop de la pratique scientifique quotidienne comme non scientifique et irrationnel. Les scientifiques persistent souvent rationnellement avec des théories qui, selon les normes de Popper, aurait dû les rejeter comme étant « réfutées ».

Mais si les scientifiques persistent souvent avec des théories « réfutées », ils ne sont pas scientifiques ou Popper n'a pas raison en ce qui concerne la science bonne. L'idée de Lakatos est de construire une méthodologie scientifique et, avec elle, un critère de délimitation dont les préceptes sont plus en ligne avec la pratique scientifique. La *falsifiabilité* continue de jouer un rôle dans la conception de Lakatos, mais son importance est quelque peu atténuée, l'abandonnant effectivement comme critère de délimitation entre science et non-science. Un programme de recherche peut être falsifiable (dans un certain sens), mais non scientifique, et scientifique mais non falsifiable. En outre, chaque théorie successive dans un programme de recherche dégénérative peut être falsifiable, mais le programme dans son ensemble peut ne pas être scientifique. Selon Lakatos, il ne doit pas être un crime de protéger l'insuffisance du programme de recherche contre un rejet empirique. Pour Popper, défendre une théorie réfutée par « l'introduction d'une hypothèse ad hoc ou la réinterprétation de la théorie ad hoc pour échapper au rejet » est un péché contre la science.

Lakatos commence l'article par une brève introduction au concept de Popper en matière de falsificationnisme, considérant que l'essence de sa « recette » est « l'audace dans les hypothèses, d'une part, et l'austérité dans les réfutations d'autre part ». Il fait ensuite la distinction entre Popper, pour laquelle la science est « la révolution constante » et la critique est le cœur de l'entreprise scientifique, et Kuhn, pour laquelle l'entreprise scientifique est exceptionnelle et extrascientifique, et la critique en « temps normal » est l'anathème.

Lakatos continue avec une présentation des thèses des connaissances. Selon la méthode scientifique « *justificationniste* », la connaissance a consisté en des déclarations prouvées. Les intellectuels classiques (ou les « *rationalistes* », au sens étroit du terme) ont accepté des preuves « extrêmement » variées - et puissantes - par révélation, intuition intellectuelle, expérience. Celles-ci, en utilisant la logique, leur ont permis de prouver n'importe quel type de déclaration scientifique. Les *empiristes* classiques n'ont pas accepté comme axiomes qu'un ensemble relativement restreint de « propositions factuelles » qui exprimaient des « faits réels ». La valeur de leur vérité a été établie par l'expérience et a été la base empirique de la science. Pour prouver des théories scientifiques reposant seulement sur une base empirique étroite, il leur fallait une logique beaucoup plus puissante que la logique déductive des intellectuels classiques : la « logique inductive ». Tous les justificationnists, intellectuels ou empiristes ont été d'accord qu'une seule déclaration exprimant un « acte fort » peut réfuter une théorie universelle, (Lakatos 1978) mais peu de personnes ont pensé qu'une conjonction finie de déclarations factuelles pourrait suffire pour prouver une théorie universelle « inductiviste ».

Le justificationnisme (l'identification des connaissances avec des connaissances éprouvées) a été remplacée à temps par le *scepticisme*, qui a affirmé qu'il existe (et ne peut exister) aucune connaissance prouvée et, par conséquent, aucune connaissance en général. Les rationalistes

classiques ont essayé de préserver les principes synthétiques *a priori* des intellectuels et des empiristes classiques. Pour tous, l'honnêteté scientifique exigeait de ne rien dire qui ne soit pas prouvé. Mais, selon Lakatos, il est apparu que toutes les théories sont également évidentes. Le *probabilisme*, mis au point par un groupe de philosophes de Cambridge, a estimé que, bien que les théories scientifiques soient également inappropriées, elles présentent des degrés de probabilité différents de ceux des preuves empiriques disponibles. De cette manière, l'honnêteté scientifique exige moins que ce que l'on pensait : elle consiste à exprimer des théories très probables ; ou même en spécifiant, pour chaque théorie scientifique, l'évidence et la probabilité de la théorie à la lumière de cette évidence.

Plus tard, Popper suppose que toutes les théories ont une probabilité nulle, quelles que soient les preuves ; toutes les théories non seulement qu'ils sont également indémontrables, mais tout aussi également improbables.

1.1 Le falsificationnisme dogmatique (ou naturaliste)

Le falsificationnisme dogmatique accepte la falsifiabilité de toutes les théories scientifiques sans réserve, mais conserve une base empirique infaillible. Il est strictement empirique sans être inductif : il nie que la certitude de la base empirique puisse être transmise aux théories. Ainsi, le falsificationnisme dogmatique est donc la marque de justification la plus faible.

Le signe distinctif de la falsification dogmatique est la reconnaissance du fait que toutes les théories sont également conjecturales. La science ne peut prouver aucune théorie, mais elle peut les rejeter. L'honnêteté scientifique consiste donc à spécifier une expérience de telle manière que, si le résultat est en contradiction avec la théorie, nous devons renoncer à la théorie. Une fois qu'une déclaration est rejetée, elle doit être rejetée de manière inconditionnelle. Les déclarations falsifiées portent la mention « métaphysique » et sont scientifiquement démenties.

Selon la logique de la falsification dogmatique, la science se développe en supprimant à plusieurs reprises des théories à l'aide d'actes lourds. Ainsi, la science est faite par des spéculations audacieuses, qui ne sont jamais prouvées ni même probables, mais certaines d'entre elles sont ensuite éliminées par des rejets lourds et concluants, puis remplacées par des spéculations encore plus audacieuses, nouvelles et, du moins initialement, non falsifié.

La falsification dogmatique est toutefois considérée par Lakatos comme *impossible*. Elle repose sur deux fausses hypothèses et sur un critère trop étroit de distinction entre science et non-science. La première hypothèse est qu'il existe une frontière naturelle et psychologique entre les déclarations théoriques ou spéculatives, d'une part, et les déclarations factuelles ou observationnelles (ou fondamentales), d'autre part (« l'approche naturaliste » de la méthode scientifique). La deuxième hypothèse est que si une déclaration satisfait le critère psychologique d'être factuelle ou observationnelle (ou de base), elle est alors vraie ; on peut dire que cela a été prouvé par des faits (« la doctrine de la preuve observationnelle ou expérimentale »). Ces hypothèses sont complétées par un critère de délimitation : seules les théories « scientifiques » interdisent certains états observationnels des choses, et donc peuvent être rejetées (si elles ont une base empirique).

Pour les empiristes classiques, le bon esprit est un *tabula rasa*, vidé de tout contenu original, libéré de tout préjugé de théorie. Mais il semble, d'après les travaux de Kant et Popper - et des travaux de psychologues influencés par eux - qu'une telle psychothérapie empirique ne puisse jamais réussir. Par conséquent, il n'y a pas de délimitation naturelle (c'est-à-dire psychologique) entre les déclarations théoriques et observationnelles.

Mais même si une telle délimitation naturelle existait, la logique détruirait toujours la deuxième hypothèse de la falsification dogmatique. Car la vérité des déclarations «

observationnelles » ne peut être décidée indiscutablement : aucune déclaration factuelle ne peut jamais être prouvée par une expérience. Les déclarations ne peuvent être tirées que d'autres déclarations, elles ne peuvent être déduites de faits : aucune déclaration observationnelle ne peut pas être démontrée.

Enfin, même s'il existait une délimitation naturelle entre les déclarations observationnelles et la théorie, et même si la véracité des déclarations observationnelles pouvait être indéniablement établie, la falsification dogmatique resterait inutile pour supprimer la classe la plus importante de ce qui est communément considéré comme des théories scientifiques. Même si les expériences peuvent montrer des rapports expérimentaux, leur pouvoir de réfutation serait toujours limité : les théories scientifiques les plus admirées n'arrivent tout simplement pas à interdire tout état observable des choses.

Les justificationnistes classiques n'ont pas admis que des théories éprouvées ; les justificationnistes néoclassiques, les probables ; les falsificationnistes dogmatiques ont compris que, dans tous les cas, aucune théorie n'est pas admissible. Ils ont décidé de n'admettre des théories que si elles sont falsifiables - pour un nombre limité d'observations. Mais même s'il existait de telles théories falsifiables - celles qui pourraient être contredites par un nombre limité de faits observables - elles restent logiquement trop proches de la base empirique.

1.2 La falsification méthodologique

La falsification méthodologique est une marque du conventionnalisme. Il y a une importante délimitation entre les théories de la connaissance « passives » et « actives ». « Les passivistes prétendent que la vraie connaissance est l'empreinte de la nature sur un esprit parfaitement inerte : l'activité mentale ne peut qu'engendrer des biais et des distorsions. » L'école passiviste la plus influente est l'empirisme classique. « Les activistes » affirment que nous ne

pouvons pas lire le livre de la nature sans activité mentale, sans l'interpréter à la lumière de nos attentes ou de nos théories. Les « militants conservateurs » prétendent que nous sommes nés avec nos attentes fondamentales, en transformant le monde en « notre monde », mais que nous devons vivre pour toujours dans la prison de notre monde. Nos conceptuels peuvent être développés et remplacés par de nouveaux et meilleurs, nous sommes ceux qui construisons les « prisons » et nous pouvons aussi les démolir.

Poincaré, Milhaud et Le Roy se sont opposés à l'idée de preuve par intuition progressive et ont préféré expliquer le succès historique continu de la mécanique newtonienne par une décision méthodologique prise par des scientifiques : après une période considérable d'expériences empiriques initiales, les scientifiques peuvent décider de ne pas permettre à la théorie d'être réfutée. Une fois qu'ils ont pris cette décision, ils résolvent (ou dissolvent) les anomalies apparentes par des hypothèses auxiliaires ou d'autres « stratagèmes conventionnels ». Ce conventionnalisme conservateur a toutefois le désavantage de rendre impossible la sortie de nos prisons une fois que la première période d'essais et d'erreurs est terminée et que la grande décision a été prise. Cela ne résoudra pas le problème de l'élimination des théories qui ont triomphé pendant une longue période. Selon le conventionnalisme conservateur, les expériences peuvent avoir suffisamment de pouvoir pour rejeter les théories jeunes, mais pas pour rejeter les théories anciennes et stables: tandis que la science se développe, le pouvoir des preuves empiriques diminue. Les critiques de Poincaré ont refusé d'accepter son idée selon laquelle, bien que les scientifiques développent leurs cadres conceptuels, il est un temps où ces cadres se transforment en prisons qui ne peuvent être démolies. Cette critique a donné naissance à deux écoles rivales du conventionnalisme révolutionnaire : la simplicité de Duhem et la falsification méthodologique de Popper.

Duhem a accepté la position des conventionnalistes selon laquelle aucune théorie physique ne se décompose sous le poids de « réfutation », mais il a affirmé qu'il peut encore s'effondrer sous le poids de « réparations continues » et de nombreux vestiges gênés lorsque « les colonnes sont dévorées par des vers » et ne peuvent plus supporter le « bâtiment »; alors la théorie perd sa simplicité d'origine et doit être remplacée. Mais la falsification est alors laissée au goût subjectif ou, dans le meilleur des cas, à la mode scientifique, et trop de liberté est laissée à une adhésion dogmatique à une théorie favorite.

Popper a eu l'intention de trouver un critère plus objectif et plus difficile à contrer. Il ne pouvait accepter l'émasculation de l'empirisme, inhérent à l'approche de Duhem, et a proposé une méthodologie permettant aux expériences de rester puissantes, même dans une science mature. La falsification méthodique de Popper est à la fois conventionnelle et falsifiable, mais elle diffère des conventionnalistes conservateurs, en considérant que les déclarations convenues d'un commun accord ne sont pas universelles mais singulières ; il diffère de la falsification dogmatique, considérant que la vérité de telles déclarations ne peut pas être prouvée par des faits, mais que, dans certains cas, elle peut être décidée par accord.

Le conventionnalisme de Duhman (ou « justificationnisme méthodologique ») rend non arbitrairement falsifiables certaines théories temporelles (universelles) qui se distinguent par leur pouvoir explicatif, leur simplicité ou leur beauté. Le conventionnaliste poppérien révolutionnaire (ou « falsification méthodique ») rend impossible la falsification arbitraire des déclarations singulières.

La falsification méthodologique utilise nos théories les plus réussies comme extensions de nos sens et élargit l'éventail de théories pouvant être appliquées à des tests allant bien au-delà de la gamme des théories strictement observationnelles de la falsification dogmatique. La nécessité

de décider de délimiter la théorie testée par des connaissances de base non problématiques est une caractéristique de ce type de falsification méthodologique. Cette considération montre l'élément conventionnel dans l'acceptation d'une théorie dans un certain contexte (méthodologique) du statut « d'observateur ». De même, il existe un élément conventionnel considérable dans la décision relative à la vraie valeur réelle d'une déclaration de base que nous prenons après avoir décidé quelle « théorie d'observation » devrait s'appliquer. Une observation peut être le résultat tendu d'une erreur triviale : afin de réduire ces risques, la falsification méthodologique prescrit un certain contrôle de sécurité. Le contrôle le plus facile consiste à répéter l'expérience (c'est une question de convention à chaque fois) en renforçant le potentiel de contrefaçon par le biais d'une « hypothèse falsifiant bien corroborée ». Le falsificateur méthodologique souligne également que ces conventions sont en fait institutionnalisées et soutenues par la communauté scientifique ; la liste des falsificateurs « acceptés » est fournie par le verdict des experts expérimentaux. C'est ainsi que le falsificateur méthodologique pose sa base empirique.

Mais Lakatos estime que cette « base » peut difficilement être qualifiée de « base » par des normes complémentaires : il n'y a aucune preuve à cet effet.

Le falsificateur méthodologique réalise que si nous voulons concilier le faillibilisme et la rationalité (non justifiable), nous devons trouver un moyen d'éliminer certaines théories. Si nous échouons, la croissance de la science ne sera qu'une augmentation du chaos. Le falsificateur méthodologique sépare la réfutation de l'échec de la preuve que le falsificateur dogmatique a confondue. C'est un faillibilist mais son faillibilisme n'affaiblit pas sa position critique : il transforme les propositions falsifiables en une « base » pour une politique rigoureuse. Dans ces groupes, il propose un nouveau critère de démarcation : seules les théories - c'est-à-dire les propositions non-observationnelles - qui interdisent certains états de choses « observables » et

peuvent donc être « falsifiées » et rejetées sont « scientifiques » En bref, une théorie est « scientifique » (ou « acceptable ») si elle repose sur une « base empirique ». Ce critère met en évidence la différence entre la falsification dogmatique et méthodologique.

Le falsificateur méthodologique est une solution intéressante pour associer une critique erronée avec le faillibilisme. Non seulement il fournit une base philosophique à la falsification, après le faillibilisme a tiré le tapis sous les pieds du falsificateur dogmatique, mais il élargit également considérablement l'ampleur de ces critiques. En falsifiant un nouveau cadre, il sauve le code d'honneur attrayant du falsificateur dogmatique : cette honnêteté scientifique consiste à spécifier une expérience à l'avance de sorte que, si le résultat est en contradiction avec la théorie, celle-ci doit être abandonnée.

Il existe au moins deux caractéristiques essentielles communes à la fois à la falsification dogmatique et à la falsification méthodologique, qui sont clairement dissonantes avec la véritable histoire de la science : (1) qu'un test est - ou doit être - une corne bifurquée dans la bataille entre théorie et expérience, de sorte que lors de la confrontation finale, ils se confrontent les uns aux autres; et (2) le seul résultat intéressant d'une telle confrontation est la falsification (concluante). Cependant, l'histoire de la science suggère que les tests (1) sont - au moins - des luttes de trois bifurcations entre théories et expériences rivales, et (2) certaines des expériences les plus intéressantes résultent, *prima facie*, dans la confirmation plutôt que dans la falsification.

Si l'histoire des sciences ne soutient pas la théorie de la rationalité scientifique, nous avons deux alternatives. Une alternative consiste à abandonner les efforts pour fournir une explication rationnelle au succès de la science. La méthode scientifique (ou « logique de découverte »), conçue comme une discipline de l'évaluation rationnelle des théories scientifiques - et des critères de progrès - disparaît. Nous pouvons essayer d'expliquer les changements de « paradigmes » du point

de vue de la psychologie sociale. C'est la méthode de Polanyi et Kuhn. L'autre alternative, proposée par Lakatos, est d'essayer au moins de réduire l'élément de falsification conventionnel (nous ne pouvons pas l'éliminer) et de remplacer les variantes naïves de la falsification méthodologique - caractérisées par les thèses (1) et (2) ci-dessus - par une version sophistiquée qui donnerait une nouvelle raison d'être de la falsification et, par conséquent, de la méthodologie de sauvetage et l'idée de progrès scientifique.

Comme a souligné Lakatos, la théorie de la démarcation de Popper repose sur l'hypothèse qu'il existe des tests critiques qui falsifient une théorie ou la corroborent. Cependant, Lakatos nie l'existence des tests critiques au sens poppérien de la science. Il estime que la disjonction « falsification/corroboration » de Popper est trop logique : la non-corroboration n'est pas nécessairement une falsification, et la falsification d'une théorie scientifique de haut niveau n'est jamais le résultat d'une observation isolée ou d'un ensemble d'observations. De telles théories sont généralement acceptées, très résistantes à la falsification. Selon Lakatos, ils sont falsifiés ou non, pas par le biais des tests critiques popperiens, mais plutôt dans le cadre des programmes de recherche élaborés qui leur sont associés, qui stagnent progressivement, ce qui entraîne une distance croissante entre les faits à expliquer et les programmes de recherche eux-mêmes. La distinction de Popper entre la logique de la falsifiabilité et la méthodologie appliquée ne permet finalement pas de rendre pleinement justice au fait que toutes les théories de haut niveau se développent et vivent malgré l'existence d'anomalies (événements/phénomènes incompatibles avec les théories). L'existence de telles anomalies n'est généralement pas considérée par le scientifique comme une indication que la théorie en question est fausse ; au contraire, on supposera généralement et nécessairement que les hypothèses auxiliaires associées à la théorie peuvent être modifiées pour incorporer et expliquer les anomalies existantes.

1.3 La falsification méthodologique sophistiquée

Imre Lakatos a proposé une modification du critère de Popper, (K. R. Popper 2002) qu'il a qualifié de « falsification sophistiquée (méthodologique) ». De ce point de vue, le critère de délimitation ne devrait pas s'appliquer à une hypothèse ou à une théorie isolée, mais plutôt à l'ensemble d'un programme de recherche.

Pour la falsification naïve, toute théorie pouvant être interprétée comme falsifiable expérimentalement est « acceptable » ou « scientifique ». Pour la falsification sophistiquée, une théorie n'est « acceptable » ou « scientifique » que si elle a corroboré le contenu empirique au-delà de son prédécesseur (ou de son rival), c'est-à-dire si elle conduit à la découverte de faits nouveaux. Cette condition peut être analysée en deux classes : la nouvelle théorie a un contenu empirique excessif (« l'acceptabilité 1 ») et la partie de ce contenu excédentaire est vérifiée (« l'acceptabilité 2 »). La première clause peut être instantanément vérifiée par une analyse logique *a priori* ; le second ne peut être vérifié que de manière empirique, ce qui peut prendre une période indéterminée.

Pour la falsification naïve, une théorie est falsifiée par une déclaration « observationnelle » (fortifiée) qui entre en conflit avec elle (ou plutôt, qu'elle décide de l'interpréter comme étant en conflit avec elle). La falsification sophistiqué considère la théorie scientifique *T* falsifiée si et seulement si une autre théorie *T′* présentant les caractéristiques suivantes a été proposée:

1. *T′* a un contenu empirique supérieur à *T*: c'est-à-dire qu'elle prédit des faits nouveaux, improbables ou même interdits par *T*;
2. *T′* explique le succès précédent de *T*, c'est-à-dire que tous les contenus de *T* sont contenus (dans l'erreur d'observation) dans le contenu de *T′*; et
3. Une partie du contenu excessif de *T′* est corroborée.

Pour expliquer son concept, Lakatos prend comme exemple une série de théories, T_1, T_2, T_3, ... dans lesquelles chaque théorie suivante résulte de l'addition de clauses auxiliaires (ou réinterprétations sémantiques) de la théorie précédente pour tenir compte de certaines anomalies, chacune théorie ayant au moins le contenu obsolète de son prédécesseur. Supposons qu'un tel ensemble de théories soit théoriquement progressif (ou « constitue un changement théoriquement progressif des problèmes ») si chaque nouvelle théorie a un contenu empirique supérieur à son prédécesseur, c'est-à-dire si elle prédit jusqu'à présent un nouveau fait inattendu. Supposons qu'une série de théories théoriquement progressives soit également empiriquement progressive (ou "constitue un changement empiriquement progressif des problèmes") si certains de ces excès empiriques sont confirmés, c'est-à-dire si chaque nouvelle théorie nous conduit à la découverte réelle de nouveaux faits. Enfin, nous appelons un problème progressif s'il est à la fois théoriquement et empiriquement progressif, et sinon il est dégénéré. Nous acceptons les problèmes comme « scientifiques » seulement s'ils sont au moins théoriquement progressifs ; s'ils ne le sont pas, nous les « rejetons » en tant que « pseudoscientifiques ». Le progrès est mesuré par le degré d'avancement d'un changement de problème, par le degré avec lequel la série de théories nous amène à découvrir de nouveaux faits. Nous considérons une théorie des séries « falsifiée » lorsqu'elle est remplacée par une théorie avec un contenu plus corroborée.

La falsification sophistiquée change donc le problème du mode d'évaluation théorique en problème de l'évaluation des séries théoriques. Ce n'est pas une théorie isolée, mais seulement une série de théories peut être considérée comme scientifique ou non scientifique : l'application du terme « scientifique » à une seule théorie est une erreur de catégorisation.

L'honnêteté neo-justificationniste a exigé de préciser la probabilité de toute hypothèse à la lumière des preuves empiriques disponibles. L'honnêteté de la falsification naïve a exigé l'essai

de la falsifiabilité et le rejet de la non-test falsifiabilité et de la falsification. Enfin, l'honnêteté de la falsification sophistiquée exige que l'on essaie de voir les choses sous différents angles, présente de nouvelles théories qui anticipent de nouveaux faits et rejette celles qui ont été remplacées par les plus puissantes.

Selon Paul Thagard, (Thagard 1978) une théorie ou une discipline est pseudo-scientifique si elle répond à deux critères. L'une est que la théorie ne progresse pas et l'autre que « la communauté des praticiens tente peu de développer la théorie en vue de la résolution des problèmes, ne cherche pas à évaluer la théorie par rapport aux autres, et prend en compte de manière sélective les confirmations et les désaccords. » Une différence majeure entre son approche et celle de Lakatos réside dans le fait que Lakatos qualifierait une discipline non progressive comme pseudoscientifique même si ses praticiens travaillent dur pour l'améliorer et la transformer en une discipline progressive.

2. La tolérance méthodologique

Dans ses premiers travaux, Lakatos semble accepter l'idée qu'« après un *point de saturation*: nous rejetons la théorie », mais il a plus tard déclaré, au contraire, qu'il n'existe naturellement pas de « point de saturation » pour un programme de recherche.(Lakatos 1978) Ses normes d'évaluation n'établissent pratiquement aucun délai pour l'évaluation finale de la progressivité ou de la dégénérescence empirique d'un programme. Au début d'une nouvelle idée scientifique ambitieuse, une certaine tolérance méthodologique est requise, et cela s'applique aux programmes de recherche dont les heuristiques viennent d'apparaître. Il n'y a rien « d'irrationnel » à soutenir une théorie avec des stratagèmes *ad hoc* ingénieux ou à la conserver malgré de longues périodes sans succès empirique. Les *expériences « cruciales »* ne sont considérées comme cruciales que des décennies plus tard, « après une longue rétrospective ». Dans le jargon hégélien,

la « connaissance absolue », sous la forme de « conscience de soi » et de « maîtrise de soi-même de l'esprit », n'est disponible qu'à la fin du processus : Je pensais qu'il existait un « point de saturation naturelle » ; « j'utilise maintenant cette expression avec un accent ironique. Il n'existe aucune limitation prévisible ou vérifiable de l'imagination humaine dans l'invention de nouvelles théories qui en augmentent le contenu. » (Lakatos 1978)

Le critère de démarcation de Lakatos est beaucoup plus tolérant que celui de Popper.(K. R. Popper 2002) Un programme de recherche incohérent ne doit pas être condamné comme imprudent. Lakatos rejette la thèse hégélienne selon laquelle il existe en réalité des contradictions. Mais bien que la science parle de vérité et donc de cohérence, cela ne signifie pas qu'elle ne puisse pas résoudre une petite incohérence : « La découverte d'une incohérence - ou d'une anomalie - ne doit pas immédiatement arrêter le développement d'un programme : il peut être rationnel de mettez l'incohérence dans une certaine quarantaine *ad-hoc* et continuez avec l'heuristique positive du programme. »

Il existe un autre point où le critère de démarcation de Lakatos est plus tolérant que celui de Popper. Pour Popper, si une théorie n'est pas falsifiable, elle n'est pas scientifique et c'est tout. Pour Lakatos, *un programme de recherche peut être scientifique à un stade, moins scientifique (ou non scientifique) à un autre (s'il cesse de générer de nouvelles prévisions et ne peut pas digérer ses anomalies), mais peut revenir plus tard et retrouver son statut scientifique*. On peut dire très rarement qu'un programme de recherche n'est pas scientifique. Nous pouvons seulement dire que cela ne semble pas trop scientifique maintenant et que les perspectives de reprise ne sont pas bonnes. Pour Popper, on peut dire si une théorie est scientifique ou non en examinant ses implications logiques. Pour Lakatos, les meilleures hypothèses pourraient être fausses, car le statut scientifique d'un programme de recherche est déterminé en partie par son histoire, et pas seulement

par son caractère logique, et l'histoire, comme le proclamait Popper, est essentiellement imprévisible.

Pour Popper, le *critère empirique* dans le temps, pour une théorie satisfaisante, était de s'accorder avec les faits observés. Pour Lakatos, le critère empirique pour un certain nombre de théories est qu'elles devraient produire de nouveaux faits. L'idée de croissance et le concept de caractère empirique sont unis. La forme révisée de la falsification méthodologique nie que, dans le cas d'une théorie scientifique, la décision « dépende des résultats des expériences. S'ils confirment la théorie, nous pouvons l'accepter jusqu'à ce que nous en trouvions une meilleure. Si elles contredisent la théorie, nous la rejetons. » Ce qui décide en définitive du sort d'une théorie n'est pas le résultat d'un test, ni d'une expérience. Il n'y a aucune falsification avant qu'une meilleure théorie n'émerge pas. Ainsi, dit Lakatos, le caractère distinctif négatif de la falsification naïve disparaît ; la critique devient plus difficile et aussi positive, constructive. Mais si la falsification dépend de l'émergence des meilleures théories, la falsification n'est pas simplement une relation entre la théorie et la base empirique, mais une relation multiple entre des théories concurrentes. On peut dire que la falsification a un « caractère historique ». En outre, il est souvent proposé de vérifier à nouveau certaines des théories qui conduisent à la falsification. Cette théorie épistémologique de la relation entre théorie et expérience diffère de la théorie épistémologique de la falsification naïve. Ainsi, *les « expériences cruciales » ne peuvent être reconnues comme anomalies que rétrospectivement*, à la lumière d'une théorie superposée.

La « *falsification* » au sens de falsification naïve (non-corroboration) n'est pas une condition suffisante pour éliminer une théorie spécifique : malgré des centaines d'anomalies connues, Lakatos ne considère pas qu'elle soit falsifiée (c'est-à-dire éliminée) jusqu'à ce qu'il y en ait une autre meilleure. La « falsification » au sens naïf n'est même pas nécessaire pour la

falsification au sens sophistiqué : un changement de problèmes progressifs ne devrait pas être associé à des « réfutations ». La science peut évoluer sans « réfutation » pour la mener sur cette voie. Les falsificateurs naïfs suggèrent une croissance linéaire de la science, ce qui signifie que les théories sont suivies de réfutations fortes qui les éliminent ; ces réfutations sont à leur tour suivies de nouvelles théories. Le problème de la science concerne davantage la prolifération des théories rivales que de contre-exemples ou d'anomalies.

Il y a une difficulté sémantique ici. Pour le falsificateur naïf, une « *réfutation* » est un résultat expérimental qui, par la force de ses décisions, entre en conflit avec la théorie testée. Mais, selon une falsification sophistiquée, nous ne devons pas prendre de telles décisions avant que le prétendu « tribunal du rejet » ne devienne le tribunal qui confirme une nouvelle théorie meilleure. Par conséquent, chaque fois que nous voyons des termes tels que « rejet », « falsification », « contre-exemples », nous devons vérifier dans chaque cas si ces termes sont appliqués en vertu des décisions du falsificateur naïf ou sophistiqué.

Nous pouvons évaluer les programmes de recherche, même après leur élimination, pour leur *pouvoir heuristique* : combien de faits nouveaux ont-ils produits, quelle était leur « capacité à expliquer leurs réfutations au cours de leur croissance » ?

Dans la phase progressive d'un programme, la principale incitation heuristique provient de l'heuristique positive : les *anomalies* sont largement ignorées. En phase de dégénérescence, le pouvoir heuristique du programme diminue. En l'absence d'un programme rival, cette situation peut être reflétée dans la psychologie des scientifiques par une hypersensibilité inhabituelle aux anomalies et un sentiment de « crise » kuhnienne.

Il serait faux de supposer que nous devons rester avec un programme de recherche jusqu'à ce que tout son pouvoir heuristique soit épuisé, qu'il ne soit pas nécessaire d'introduire un

programme rival avant que tout le monde s'accorde pour dire qu'il a probablement atteint le point de dégénérescence. L'histoire des sciences a été et devrait être une histoire de programmes de recherche concurrents (« paradigmes »), mais elle n'est pas et ne doit pas devenir une succession de périodes scientifiques normales : plus la compétition commence tôt, plus la compétition est avancée pour le progrès. Le « pluralisme théorique » vaut mieux que le « monisme théorique »: à ce stade, Popper et Feyerabend ont raison, et Kuhn a tort, dit Lakatos.

Les problèmes dégénératifs ne sont pas plus une raison pour éliminer un programme de recherche plus que certaines « réfutations » ou « crises » kuhniennes. Une telle raison objective est fournie par un programme de recherche concurrent, ce qui explique le succès antérieur de son rival et le remplace par un nouvel exposé du pouvoir heuristique.

Cependant, le critère de « pouvoir heuristique » dépend fortement de notre interprétation de la « nouveauté factuelle ».

Un nouveau programme de recherche qui vient de participer au concours peut commencer par expliquer les « faits anciens » d'une manière nouvelle, mais il faudra peut-être beaucoup de temps avant de constater qu'il produit des faits « réellement nouveaux ». Tout cela suggère que nous ne devrions pas abandonner un programme de recherche en développement simplement parce qu'il n'a pas encore réussi à vaincre un rival puissant. Nous ne devrions pas l'abandonner à moins que, en supposant que son rival ne soit pas là, ce serait un problème progressiste. Tant qu'un programme de recherche en herbe peut être reconstitué de manière rationnelle en tant que problème progressif, il doit être protégé pendant un certain temps d'un rival puissant existant.

Ces considérations, dans leur ensemble, soulignent l'importance de la *tolérance méthodologique*. Même les fameuses « expériences cruciales » n'auront aucune force pour renverser un programme de recherche. Dans le cadre d'un programme de recherche, des «

expériences cruciales mineures » entre versions ultérieures sont assez courantes. Les expériences « décident » facilement entre la version scientifique *n* et (*n + 1*), car (*n + 1*) est non seulement incompatible avec *n*, mais la remplace également.

Lorsque deux programmes de recherche sont *en concurrence*, leurs premiers modèles « idéaux » traitent généralement de différents aspects du domaine. À mesure que les programmes de recherche concurrents se développent, ils s'étendent progressivement sur le territoire de chacun. Le premier est vaincu au combat, le second l'emporte. Mais la guerre n'est pas finie : tout programme de recherche autorise toute sorte de défaite. Pour revenir, il suffit de produire une version (*n + 1*) (ou (*n + k*)) qui augmente le contenu et une recherche de son nouveau contenu.

Si une telle reprise, après des efforts soutenus, n'est pas en cours, la guerre est perdue et l'expérience initiale est considérée, rétrospectivement, comme « cruciale ». Bien que le programme vaincu soit un programme ancien et « fatigué », proche de son « point de saturation naturel », il peut continuer à rester debout longtemps et à résister aux innovations ingénieuses en matière de croissance du contenu. Il est très difficile de faire échec à un programme de recherche soutenu par des scientifiques talentueux et imaginatifs. Alternativement, les défenseurs obstinés du programme vaincu peuvent offrir des explications *ad-hoc* des expériences ou une « réduction » *ad-hoc* du programme victorieux au programme défunt.

Lakatos déclare qu'il n'y a pas de point de saturation naturel. Il n'existe aucune limite prévisible ou vérifiable de l'imagination humaine dans l'invention de nouvelles théories sur la croissance du contenu qui les récompensent avec un certain succès empirique, même si elles sont fausses ou même si la nouvelle théorie est moins vraisemblable - au sens de Popper - que son prédécesseur.

3 L'heuristique

L'heuristique est un concept central de la philosophie de Lakatos. Il existe une note de bas de page dans la section « Histoire de la science et ses reconstructions rationnelles » (1970) de *La méthodologie des programmes de recherche scientifique* (Lakatos 1978) dans laquelle il a fait la distinction explicite : heuristique signifie les règles de la découverte, tandis que la logique de la découverte ou la méthodologie en font les règles de l'évaluation des résultats déjà existants de la science. Tandis que l'heuristique dans *Proofs and Refutations* (Lakatos 1976) était un ensemble de règles qui guident la résolution des problèmes pour chaque scientifique, *La méthodologie des programmes de recherche scientifique* n'offre aucun conseil heuristique à des scientifiques individuels, mais offre des recommandations à une communauté scientifique rationnelle sur les domaines suivants : comment ils devraient agir.

Dans les premiers travaux de Lakatos, « *la logique de la découverte* » était synonyme de « heuristique », mais aussi de « méthodologie » : « j'utilise le mot « méthodologie » dans un sens similaire à celui de « heuristique » de Pólya et Bernay et de la « logique de la découverte » ou la « logique situationnelle » de Popper. » (Lakatos 1976) Les heuristiques avaient pour but de décrire les schémas de pensée, la croissance du savoir. La résolution des problèmes, régie par des règles heuristiques, peut être une sorte de « dialogue interne ». Plus tard, Lakatos a distingué ces rôles.

Pour Po'lya, les heuristiques constituent un ensemble de stratégies permettant de résoudre des problèmes mathématiques afin d'apprendre, d'enseigner et de reconstruire les mathématiques. La découverte et l'invention sont principalement considérées dans leurs aspects psychologiques. (Polya 1990) Selon Popper, la logique de découverte est à la fois descriptive et normative. Selon Lakatos, le rôle de la « méthodologie heuristique » est strictement lié à son objet de recherche : comprendre la logique de développement, le modèle dialectique de la croissance, la rationalité dans le processus d'élaboration. De ce point de vue, la méthode heuristique tente d'identifier les

règles qui ont rendu possible une telle augmentation dans le passé et, en même temps, de prédire comment progresser à l'avenir. La méthode heuristique, bien que réalisable, est à la fois évaluative et normative.

Selon Lakatos, la méthodologie ne fait plus référence à l'ensemble des règles et stratégies à adopter dans le contexte de la découverte. Seules les heuristiques le font. Mais les principes heuristiques (par opposition aux méthodologiques) ne sont pas « objectifs » et « autonomes », ils sont sujets à changement, de même que les changements dans la science (Kuhn dirait que cela dépend du paradigme à un moment donné.)

> « Un certain type de prolifération des théories rivales peut jouer un rôle heuristique accidentel dans la falsification. Dans de nombreux cas, la falsification dépend de manière heuristique [la condition] du fait que sont proposées de nombreuses théories suffisamment différentes. » (K R Popper, 1940). Par exemple, nous pouvons avoir une théorie T, qui est apparemment non-réfutée. Mais il peut arriver qu'une nouvelle théorie T', incompatible avec T, est proposée, qui est conforme aux données disponibles : les différences sont inférieures à la plage des erreurs d'observation. Dans ce cas, l'incohérence nous oblige à améliorer nos « techniques expérimentales », et ainsi perfectionner la « base empirique » pour falsifier T ou T'(ou toutes les deux): « Nous avons besoin d'une nouvelle théorie pour déterminer où l'ancienne théorie était déficiente. » (K. Popper 2002, 246) Mais le rôle de cette prolifération est accidentel en ce sens que, une fois la base empirique affinée, une lutte se crée entre cette base empirique raffinée et la théorie testée T; la théorie rivale n'a agi que comme un catalyseur. (K. Popper 2002, 35)

Les séries de théories scientifiques les plus importantes dans le développement de la science se caractérisent par une certaine *continuité* qui lie leurs membres et qui découle d'un programme de recherche établi depuis le début, constitué de règles méthodologiques : certaines nous indiquent les méthodes de recherche à éviter (*heuristiques négatives*) et les voies à suivre (*heuristiques positives*). On peut voir que les heuristiques négatives et positives offrent une définition sévère (implicite) du « cadre conceptuel » (et, par conséquent, du langage). La reconnaissance du fait que l'histoire des sciences est l'histoire des programmes de recherche plutôt que les théories peut être considérée comme une justification partielle de l'idée que l'histoire des sciences est l'histoire des cadres conceptuels ou du langage scientifique.

Même la science dans son ensemble peut être considérée comme un vaste programme de recherche avec la règle heuristique suprême de Popper : « élaborer des hypothèses ayant un contenu plus empirique que leurs prédécesseurs ». Comme Popper l’a souligné, de telles règles méthodologiques peuvent être formulées en tant que principes métaphysiques.

Lakatos envisage des programmes de recherche particuliers.

3.1 Heuristique négative : le « noyau dur » du programme

L'heuristique négative du programme nous interdisent de diriger *modus tollens* vers ce « *noyau dur* ». Au lieu de cela, nous devons utiliser notre inventivité pour articuler, voire inventer des « *hypothèses auxiliaires* », qui forment une *ceinture protectrice* autour de ce noyau. Cette ceinture d'hypothèses auxiliaires protectrices doit supporter le poids des tests et être ajustée et même remplacée pour défendre le noyau ainsi renforcé. Un programme de recherche est réussi si tout cela conduit à un problème progressif ; sans succès si cela conduit à des problèmes dégénératifs.

L'exemple classique d'un programme de recherche réussi est la *théorie gravitationnelle de Newton*, probablement le programme de recherche le plus réussi à ce jour. Initialement, il a été confronté à de nombreuses « anomalies » (« contre-exemples ») et s’est opposé aux théories d’observation qui soutenaient ces anomalies. Mais les newtoniens ont transformé chaque contre-exemple en des cas corroborants, renversant les théories d'observation initiales et produisant eux-mêmes de nouveaux contre-exemples qu'ils ont résolus, transformant chaque nouvelle difficulté en une nouvelle victoire de leur programme. (Laplace 1796) Dans le programme de Newton, l'heuristique négative nous invite à rediriger *modus tollens* des trois lois de la dynamique de Newton et de la loi de la gravité. Ce « noyau » est « irréfutable » par décision méthodologique de

ses partisans : les anomalies doivent conduire à des changements uniquement dans la ceinture « protectrice » d'hypothèses auxiliaires d'observation et des conditions initiales.

Bien que le « progrès théorique » (tel que décrit par Lakatos) puisse être immédiat, le « progrès empirique » ne peut pas être vérifié et, dans le cadre d'un programme de recherche, nous risquons d'être frustrés par une longue série de « réfutations » avant que les hypothèses auxiliaires en croissance, au contenu ingénieux et chanceux, transformer une chaîne de défaites rétrospective en réussite, soit en examinant des « faits » faux, soit en ajoutant de nouvelles hypothèses auxiliaires.

L'idée d' « heuristique négative » d'un programme de recherche scientifique rationalise considérablement le conventionnalisme classique. Nous pouvons rationnellement décider de ne pas permettre aux « réfutations » de transmettre la fausseté du noyau dur, tant que le contenu empirique corroboré de la ceinture protectrice augmente. Mais l'approche de Lakatos diffère du conventionnalisme justificatif de Poincaré en ce que, contrairement à Poincaré, il prétend que si le programme cesse d'anticiper de nouveaux faits, son noyau dur pourrait être abandonné : c'est-à-dire qu'il se détériore dans certaines conditions. À cet égard, Lakatos est du côté de Duhem, qui a estimé qu'une telle possibilité devrait être autorisée ; mais pour Duhem, la raison d'une telle perturbation est purement esthétique, tandis que pour Lakatos, elle est principalement logique et empirique.

3.2 L'heuristique positive : la « ceinture de protection » du programme

Même les programmes de recherche progressive les plus rapides et les plus cohérents ne peuvent que digérer leurs « contre-exemples » : les anomalies ne sont jamais épuisées. L'ordre d'approche des anomalies est généralement décidé par le théoricien, indépendamment des anomalies *connues*. La politique de recherche, ou ordre de recherche, est présentée dans

l'*heuristique positive* du programme de recherche. L'heuristique négative spécifient le « noyau dur » du programme, qui est « irréfutable » par décision méthodologique de ses partisans ; l'heuristique positive consiste en un ensemble de *suggestions* ou d'*idées* partiellement articulées concernant le changement, le développement des « variantes réfutables » du programme de recherche, la modification et la sophistication de la ceinture de protection « réfutable ».

L'heuristique positive établit un programme qui répertorie une série de modèles de plus en plus complexes simulant la réalité : l'attention du scientifique est centrée sur la construction de ses modèles, en suivant les instructions définies dans la partie positive de son programme. Il ignore les exemples réels, les données « disponibles ». Si un scientifique a une heuristique positive, il refuse de se laisser entraîner dans l'observation. C'est pourquoi nous parlons de « modèles » dans les programmes de recherche. Un « modèle » est un ensemble de conditions initiales (éventuellement associées à certaines des théories observationnelles) dont on sait qu'elles seront remplacées au cours du développement ultérieur du programme et parfois même comment. L'existence des « réfutations » n'est pas relevant dans un programme de recherche, elles sont prévisibles ; l'heuristique positive existe en tant que stratégie pour la prédiction et la digestion des anomalies. Si l'heuristique positive est clairement définie, les difficultés du programme sont plutôt mathématiques qu'empiriques.

On peut formuler l'« heuristique positive » d'un programme de recherche en tant que *principe « métaphysique »*. L'heuristique positive est donc généralement plus souple que l'heuristique négative. De plus, il arrive parfois que lorsqu'un programme de recherche entre dans une phase dégénérative, une petite révolution ou un *changement créatif* de son heuristique positive puisse le repousser.

L'heuristique positive se dirige vers une ignorance presque totale des « réfutations » : il s'agit plutôt de « vérifications » que de réfutations, qui offrent des points de contact avec la réalité. Un « vérification » est une corroboration de contenu excessif dans le programme étendu. Mais une « vérification » ne vérifie pas un programme : il montre seulement son pouvoir heuristique.

3.3 Bohr : un exemple de programme de recherche

Le modèle atomique de Bohr a été l'un des exemples les plus brillants de la méthodologie des programmes de recherche d'Imre Lakatos. (Lakatos 1978) Les grandes lignes du programme de recherche de Bohr (Bohr 1913) peuvent être caractérisées par :

1. Le problème initial ;
2. Ses heuristiques négatives et positives ;
3. Les problèmes qu'il a tenté de résoudre au cours du développement ;
4. Son point de dégénérescence (point de saturation) et, enfin,
5. Le programme par lequel il a été remplacé.

Le problème sous-jacent était de savoir comment les atomes de Rutherford (comme systèmes planétaires avec des électrons circulant autour d'un noyau positif) pouvaient rester stables, car, selon la théorie de l'électromagnétisme de Maxwell-Lorentz, ils devraient s'effondrer. La théorie de Rutherford était bien étayée. La suggestion de Bohr était d'ignorer l'incohérence pour le moment et de développer alternativement un programme de recherche dont les versions « réfutables » seraient incompatibles avec la théorie de Maxwell-Lorentz. Il a proposé cinq postulats comme *noyau dur* de son programme :

1. Le rayonnement énergétique [à l'intérieur de l'atome] n'est pas émis (ou absorbé) en continu comme dans l'électrodynamique ordinaire, mais seulement pendant la transition des systèmes entre différents états « stationnaires ».

2. L'équilibre dynamique des systèmes dans les états stationnaires est régi par les lois habituelles de la mécanique, tandis que ces lois ne restent pas valables lorsque les systèmes passent entre les différents états.
3. Le rayonnement émis lors de la transition d'un système entre deux états stationnaires est homogène et la relation entre la fréquence v et la quantité totale d'énergie émise E est donnée par $E = hv$, où h est la constante de Planck.
4. Différents états stationnaires d'un système simple sont déterminés par la condition que le rapport de l'énergie totale émise pendant la formation de la configuration à la fréquence de rotation de l'électron est un multiple entier de h. En supposant que l'orbite de l'électron est circulaire, cette hypothèse équivaut à l'hypothèse que le moment angulaire de l'électron autour du noyau est égal à un multiple entier de $h/2\pi$.
5. L'état « permanent » de tout système atomique, c'est-à-dire l'état où l'énergie émise est maximale, est déterminé par la condition que le moment angulaire de chaque électron autour du centre de l'orbite soit égal à $h/2\pi$. (Bohr 1913)

Le *principe de correspondance* de Bohr a joué un double rôle intéressant dans son programme. D'une part, il a fonctionné comme un principe heuristique important qui a suggéré de nombreuses nouvelles hypothèses scientifiques qui, à leur tour, ont conduit à de nouveaux faits dans le domaine de l'intensité du spectre. D'autre part, il a également fonctionné comme un mécanisme de défense qui « a essayé de tirer le meilleur parti des concepts des théories classiques de la mécanique et de l'électrodynamique, malgré le contraste entre ces théories et la quantification de l'action », plutôt que de souligner l'urgence d'un programme unifié. Dans ce deuxième rôle, il a réduit le niveau de problème du programme.

Le plan de Bohr était de développer d'abord la théorie de l'atome d'hydrogène. Son premier modèle devait être basé sur un noyau avec un proton fixe avec un électron sur une orbite circulaire ; dans le deuxième modèle, il voulait calculer une orbite elliptique dans un plan fixe; puis il avait l'intention d'éliminer clairement les restrictions artificielles du noyau; d'autant plus qu'il envisageait la rotation possible de l'électron, puis espérait étendre son programme à la structure d'atomes et de molécules complexes et à l'effet des champs électromagnétiques sur eux, etc. Cette voie a été prévue dès le départ : l'idée que les atomes sont analogues aux systèmes planétaires a prolongé un programme long, difficile mais optimiste et a clairement indiqué la politique de recherche.

Le premier document de Bohr de 1913 contenait la première étape du programme de recherche. Il contenait son premier modèle (M_1), qui avait déjà prédit des faits jusqu'alors imprévus par aucune théorie antérieure : les longueurs d'onde du spectre d'émission de la raie hydrogène. Bien que certaines de ces longueurs d'onde soient connues avant 1913, la théorie de Bohr prédit beaucoup plus que ces deux séries connues. Les tests reprennent bientôt leur contenu romanesque : une série supplémentaire est reprise par Lyman en 1914, une autre par Brackett en 1922 et une autre par Pfund en 1924.

Parce que les séries Balmer et Paschen étaient connues avant 1913, certains historiens présentent l'histoire comme un exemple baconien « en ascension inductive »: (1) le chaos des raies spectrales, (2) une « loi empirique » (Balmer), (3) une explication théorique (Bohr).

En fait, le problème de Bohr n'était pas d'expliquer les séries de Balmer et Paschen, mais d'expliquer la stabilité paradoxale de l'atome de Rutherford. De plus, Bohr n'a même pas entendu parler de ces formules avant d'écrire la première version de son travail.

Tout le contenu romanesque du premier modèle M_1 de Bohr n'a pas été corroboré. Par exemple, le M_1 de Bohr prétendait prédire toutes les raies du spectre d'émission d'hydrogène. Mais il y avait des preuves expérimentales pour un certain nombre de lignes qui, selon Bohr dans M_1, n'en auraient pas été. La série anormale était la série ultraviolette de Pickering-Fowler.

Bohr n'était cependant pas très impressionné par les physiciens expérimentaux « autoritaires ». Il n'a pas remis en question leur « expérience » ou « la fiabilité de leurs observations », mais a remis en question leur théorie de l'observation. En effet, il a proposé une alternative. Il a d'abord développé un nouveau modèle (M_2) de son programme de recherche : le modèle de l'hélium ionisé, avec un double proton en orbite autour d'un électron. Maintenant, ce modèle prédit une série d'ultraviolets dans le spectre de l'hélium ionisé qui coïncide avec la série de Pickering-Fowler. C'était une théorie rivale. Il a ensuite suggéré une « expérience cruciale »: il a prédit que la série de Fowler pourrait être produite, peut-être même avec des lignes plus fortes, dans un tube rempli d'un mélange d'hélium et de chlore. De plus, Bohr a expliqué aux expérimentateurs, sans même regarder leur appareil, le rôle catalytique de l'hydrogène dans l'expérience de Fowler et du chlore dans l'expérience qu'il a suggérée. En effet, il avait raison. Ainsi, la première défaite apparente du programme de recherche s'est transformée en une victoire retentissante.

La victoire, cependant, a été immédiatement interrogée. Fowler a admis que sa série n'était pas de l'hydrogène, mais une série d'hélium. Mais il a souligné que le programme de Bohr n'a pas encore réussi : les longueurs d'onde de la série Fowler diffèrent considérablement des valeurs prédites par M_2. Ainsi, le programme, tout en ne rejetant pas M_1, rejette toujours M_2, et en raison de la connexion étroite entre M_1 et M_2, il sape M_1.

Bohr a rejeté l'argument de Fowler : bien sûr, il n'a jamais dit que M_2 était pris au sérieux. Ses valeurs étaient basées sur un calcul brut basé sur l'orbite des électrons autour d'un noyau fixe

; mais, bien sûr, ils tournent autour du centre de gravité commun. Ce modèle modifié était le modèle M_3 de Bohr. Et Fowler lui-même devait admettre que Bohr avait encore raison.

L'apparente réfutation de M_2 s'est transformée en victoire pour M_3; et il était clair que M_2 et M_3 auraient pu être développés dans le cadre du programme de recherche - peut-être jusqu'à M_{17} ou M_{20} - sans aucune incitation d'observation ou d'expérimentation. À ce stade, Einstein a déclaré à propos de la théorie de Bohr : « C'est l'une des plus grandes découvertes. »

Le programme de recherche de Bohr s'est poursuivi comme prévu. L'étape suivante consistait à calculer les orbites elliptiques. La transition vers ce nouveau modèle relativiste a nécessité beaucoup plus de capacités et de talents mathématiques que le développement des premiers modèles.

Moseley a souligné immédiatement après la première publication de Bohr qu'il « ne tient pas compte de la deuxième ligne plus faible trouvée dans chaque spectre ». Bohr n'était pas fâché : il était convaincu que l'heuristique positive de son programme de recherche expliquerait et même corrigerait les remarques de Michelson. Et il en fut ainsi. De nombreuses défaites des premiers modèles de Bohr ont été transformées par Sommerfeld et l'école de Munich en victoires pour le programme de recherche de Bohr.

Ce croquis montre comment un changement progressif peut donner crédibilité - et raison - à un programme incohérent. La simple introduction de quantités dans l'action ne signifie pas encore qu'une véritable théorie quantique ait été établie. Les difficultés ont progressivement augmenté, plutôt que diminué ; et bien que la recherche ait résolu certains d'entre eux entre-temps, les différences qui restaient en théorie étaient stressantes. En fait, ce qui, dans la théorie de Bohr, servait de base aux lois de l'action consistait en certaines hypothèses que, il y a une génération, tout physicien aurait sans aucun doute rejetées. Bien qu'au départ, il s'agissait d'installer le moins

possible un élément nouveau et étrange dans un système existant, qui était généralement considéré comme établi, l'intrus, après avoir acquis une position sûre, a maintenant pris l'offensive ; et maintenant il semble certain que l'ancien système est sur le point d'exploser à un moment donné. La seule question était de savoir quand et dans quelle mesure cela se produira.

Dans le programme de Bohr, tous les développements du programme n'étaient pas prévus et planifiés lorsque la première heuristique positive a été tirée. Lorsque de curieuses lacunes sont apparues dans les modèles sophistiqués de Sommerfeld (certaines lignes de prévision ne sont jamais apparues), Pauli a proposé une hypothèse supplémentaire profonde (le « principe d'exclusion »), qui non seulement reflétait les lacunes connues, mais reformulait la théorie de la coquille du système d'éléments périodiques et a anticipé des faits auparavant inconnus.

Ainsi, ce programme a atteint un point où sa puissance heuristique a diminué. Les hypothèses *ad hoc* se sont multipliées et n'ont pas pu être remplacées par des explications qui augmentent le contenu. Le programme est resté derrière la découverte des « faits ». Des anomalies non digérées ont inondé le programme. Avec des incohérences de plus en plus stériles et des hypothèses *ad hoc* plus profondes, dans la phase de dégénérescence, le programme de recherche a commencé à perdre son caractère empirique. Bientôt un programme de recherche rival est apparu : la mécanique ondulante. Non seulement le nouveau programme, même dans sa première version, expliquait les conditions quantiques de Planck et Bohr, mais il a également conduit à des faits intéressants. Dans ses versions ultérieures, de plus en plus sophistiquées, il a proposé des solutions à des problèmes qui étaient complètement inaccessibles au programme de recherche de Bohr et a expliqué les théories *ad hoc* ultérieures du programme de Bohr à travers des théories satisfaisant des normes méthodologiques élevées. La mécanique ondulante a été acceptée bientôt le dessus, a vaincu et a remplacé le programme de Bohr.

Le programme de recherche de la théorie quantique dans son ensemble était un programme « greffé », et donc pas accepté par les physiciens avec des vues profondément conservatrices comme Planck. Il existe deux positions extrêmes et tout aussi irrationnelles concernant un programme de greffe.

La position conservatrice est d'arrêter le nouveau programme jusqu'à ce que l'incohérence de base avec l'ancien programme soit en quelque sorte réparée : il est irrationnel de travailler sur des bases incohérentes. Les « conservateurs » s'attacheront à éliminer les incohérences en expliquant (de manière approfondie) les postulats du nouveau programme par rapport à l'ancien programme : ils jugent irrationnel de poursuivre le nouveau programme sans réduction réussie. Planck lui-même a choisi cela. Il n'a pas réussi, malgré la décennie de dur labeur qu'il y a investie en lui.

La position anarchiste sur les programmes de greffe est d'étendre l'anarchie dans la fondation comme une vertu et de considérer l'incohérence [faible] soit comme une propriété fondamentale de la nature soit comme une limitation finale de la connaissance humaine, comme l'ont fait certains des successeurs de Bohr.

La position rationnelle est mieux caractérisée par Newton, qui fait face à une situation qui dans une certaine mesure était similaire à celle discutée. La mécanique cartésienne de type push, sur laquelle le programme de Newton a été initialement greffé, était (faiblement) incompatible avec la théorie de la gravité de Newton. Newton a travaillé sur son programme heuristique (réussi) et réductionniste (échoué), et a été désapprouvé par les cartésiens qui, comme Huyghens, pensaient qu'il ne valait pas la peine de perdre du temps avec un programme « inintelligible », ainsi que par certains de ses disciples qui, comme Cotes, pensaient que l'incohérence n'était pas un problème.

La position rationnelle concernant les programmes « greffés » est d'exploiter leur pouvoir heuristique sans se résigner au chaos fondamental qui grandit. Dans l'ensemble, cette attitude dominait l'ancienne théorie quantique avant 1925. Dans la nouvelle théorie post-1925, la position « anarchiste » est devenue dominante et la physique quantique moderne, dans son interprétation de Copenhague, est devenue l'un des principaux porte-étendards de l'obscurantisme philosophique. Dans la nouvelle théorie, le « principe de complémentarité » notoire de Bohr incorporait l'incohérence [faible] en tant que caractéristique fondamentale de la nature et combinait le positivisme subjectiviste et la philosophie dialectique ancienne et même le langage ordinaire dans une alliance malsaine. En 1925, Bohr et ses associés ont introduit une nouvelle réduction sans précédent des normes critiques pour les théories scientifiques. Cela a conduit à une défaite de la raison dans la physique moderne et à un culte anarchiste d'un chaos incompréhensible.

Planck lui-même donne une description dramatique de ces années : « Mes tentatives inutiles pour quantifier l'élément d'action dans la théorie classique se sont poursuivies pendant plusieurs années et m'ont coûté beaucoup d'efforts. Beaucoup de mes collègues ont vu ces tentatives comme quelque chose qui est proche d'une tragédie. » (Whittaker 1960, 103–4)

Einstein et ses alliés n'ont pas gagné le combat. Les deux points de vue, le quantum et le champ électromagnétique, sont complémentaires au sens de Bohr. Cette complémentarité est l'une des grandes réalisations de la philosophie naturelle, dans laquelle

3.4 Preuves et Réfutations

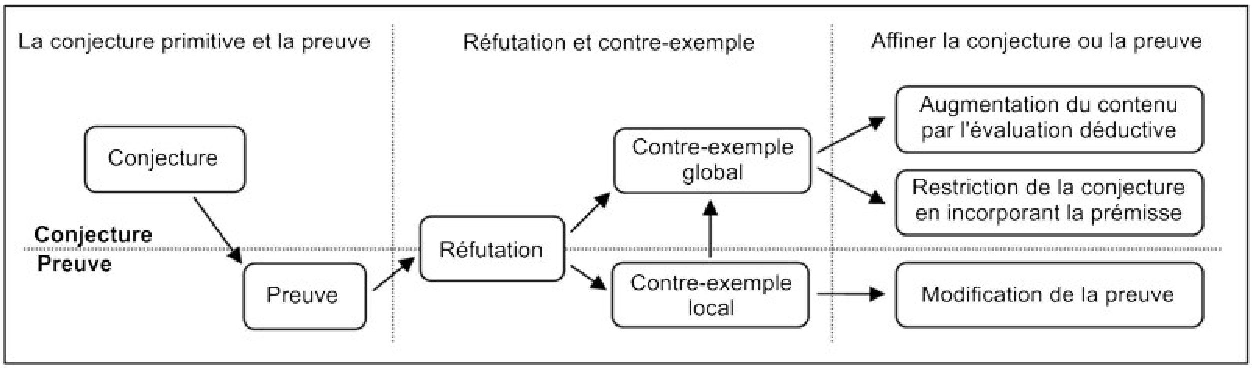
Preuves et Réfutations est écrit comme une série de dialogues socratiques entre un groupe d'étudiants discutant de la démonstration des caractéristiques d'Euler définies pour les polyèdres. (Lakatos 1976) Le livre explique de nombreuses idées logiques importantes, mettant l'accent sur l'idée d'heuristique positive. Le livre comprend deux annexes. Dans le premier, Lakatos donne des

exemples du processus heuristique de la découverte mathématique en particulier et du processus scientifique en général. Deuxièmement, il oppose les approches déductives et heuristiques et propose des analyses heuristiques des concepts « *preuves* ».

Bien que le livre soit écrit comme un récit, il développe une véritable méthode d'investigation, celle des « preuves et réfutations » :

1. Si vous avez une supposition, essayez de la prouver et de la réfuter. Vérifier soigneusement les preuves pour préparer une liste de prémisses non triviales (analyse des preuves); trouver des contre-exemples pour les conjectures (contre-exemples globaux) et des prémisses suspects (contre-exemples locaux).
2. « Méthode d'incorporation des prémisses » : si vous avez un contre-exemple global, renoncez aux conjectures, ajoutez à l'analyse des preuves une prémisse/lemme appropriée, qui sera réfutée par le contre-exemple, et remplacez la conjecture que vous avez abandonnée par une conjecture améliorée qui incorpore cette prémisse/lemme comme condition. Ne laissez pas une réfutation être rejetée en tant qu'un monstre. Essayez de rendre explicites tous les « prémisses/lemmes cachés ».
3. Si vous avez un contre-exemple local, vérifiez qu'il ne s'agit pas non plus d'un contre-exemple global. Si c'est le cas, vous pouvez facilement appliquer la règle 2.
4. Si vous avez un contre-exemple local mais non global, essayez d'améliorer votre analyse des preuves en remplaçant la prémisse/lemme rejetée (« coupable ») par une autre non-falsifiée.
5. « Augmenter le contenu par évaluation/intuition déductive » : Si vous avez des exemples de quelque nature que ce soit, essayez de trouver, au moyen d'une évaluation/intuition déductive, une preuve plus approfondie de ce qui ne sont plus des contre-exemples.

Cette modification de la preuve peut être interprétée comme préservant la structure générale de la preuve et ne modifiant qu'une partie de la preuve qui a été réfutée par des contre-exemples locaux ou, plus radicalement, l'élaboration d'une preuve plus approfondie qui est complètement différente de la preuve originale.



Règles heuristiques dans les preuves et les réfutations (Komatsu 2012)

En science, le même modèle heuristique (que l'on rencontre couramment en mathématiques) joue un rôle important :

1. Un problème est proposé. Une solution est présentée comme une conjecture naïve (conjecture primitive).
2. La preuve (une expérience ou un argument grossier, décomposant la conjecture primitive en sous-conjectures). La conjecture naïve est expliquée et réfutée. L'explication est analysée dans des lemmes, et les lemmes sont incorporés dans des conjectures naïves. Le résultat est un théorème irréfutable.
3. Des contre-exemples « globaux » (contre-exemples de la conjecture primitive) apparaissent et sont suivis dans le temps.
4. Le réexamen des preuves : le « lemme coupable » est identifiée, où le contre-exemple global est un contre-exemple local. Ce lemme coupable est resté jusque-là « cachée » ou a peut-être été mal identifiée. Elle est désormais explicite et intégrée à la conjecture primitive

comme condition. Le théorème - la conjecture améliorée - remplace la conjecture primitive par le nouveau concept généré par l'évidence comme caractéristique de première importance.

5. Les preuves des autres théorèmes sont examinées pour voir si le lemme nouvellement découvert ou le nouveau concept généré par des preuves se déroule en leur sein : ce concept peut être trouvé aux intersections des différentes preuves et s'avère donc d'une importance fondamentale.
6. Les conséquences jusqu'ici acceptées de la conjecture originale et réfutée sont vérifiées.
7. Les contre-exemples sont transformés en nouveaux exemples - de nouveaux domaines de recherche sont ouverts. Les réfutations locales totales conduisent à des théories rivales.
8. Après le point de saturation : rejet.

4 Conclusions

La conclusion de Lakatos est qu'*il n'y a pas d'expériences cruciales*, du moins pas si elles sont censées être des expériences qui peuvent renverser instantanément un programme de recherche. Ce n'est que lorsqu'un programme de recherche subit une défaite et est remplacé par un autre que nous pouvons appeler une expérience cruciale si elle s'avère avoir fourni une instance spectaculairement corroborée pour le programme victorieux et un échec pour le défait.

Les *règles heuristiques* ne sont pas contraignantes et « il n'y a pas de logique non-faillibiliste de découverte scientifique, une logique qui conduirait infailliblement à des résultats ». (Lakatos 1976) Les règles heuristiques sont celles qui méritent généralement d'être suivies - parfois elles fonctionnent, parfois non. Il y a place pour une invention méthodique.

Cependant, l'*unité* d'origine de l'heuristique, de la méthodologie et de la logique de découverte n'était pas infondée : à la fois l'heuristique et la méthodologie se réfèrent à

l'amélioration des théories. Il est toujours possible d'améliorer la façon de penser, c'est-à-dire de façon méthodique. Nous avons besoin d'appréciation lorsque nous avons l'intention d'améliorer nos théories. Mais l'évaluation est cependant clairement différente de l'heuristique - du moins logique. L'heuristique n'implique que la « signalisation », alors que la méthodologie nous dit, même provisoirement, si nous allons dans la bonne direction. Une théorie dans un programme de recherche ne peut être correctement traitée comme progressive ou dégénérée qu'en perspective, en fonction de son évolution. C'est l'historicité de la connaissance, de la vérité, de la rationalité et de la méthodologie dans la philosophie de Lakatos.

À la lumière de ses considérations, l'idée de *rationalité instantanée* peut être considérée comme utopique. Mais cette idée utopique est une caractéristique de la plupart des épistémologies. Toutes les théories basées sur la rationalité instantanée échouent. Le raisonnement fonctionne beaucoup plus lentement que la plupart des gens ont tendance à le croire, et même alors, à tort. La continuité de la science, la ténacité de certaines théories, le raisonnement d'un certain dogmatisme ne peuvent s'expliquer que si nous décrivons la science comme un champ de bataille des programmes de recherche, plutôt que des théories isolées. On peut très peu comprendre la croissance de la science lorsque notre paradigme d'une partie des connaissances scientifiques est une théorie isolée, sans être incorporé dans un programme de recherche majeur. Le système proposé par Lakatos implique un nouveau critère de démarcation entre la « science mature » constituée de programmes de recherche, et la « science immature » constituée d'un schéma simple avec des correctifs par essais et erreurs. Par exemple, nous pouvons avoir une hypothèse, nous la rejetons et ensuite elle est sauvegardée par une hypothèse auxiliaire qui n'est pas *ad hoc*. Il peut prédire de nouveaux faits, dont certains peuvent être corroborés. Cependant, de tels « progrès » peuvent être réalisés avec une série arbitraire de théories déconnectées.

La *science mature* se compose de programmes de recherche dans lesquels non seulement de nouveaux faits sont anticipés, mais, surtout, de nouvelles théories auxiliaires ; la science mature a un « pouvoir heuristique ». Dans l'heuristique positive d'un programme puissant, il y a, dès le départ, un aperçu général de la construction des ceintures de protection : ce pouvoir heuristique génère l'autonomie de la science théorique.

La *rationalité scientifique* de Lakatos, bien que basée sur celle de Popper, s'écarte de certaines de ses idées générales. Lakatos soutient, dans une certaine mesure, le conventionnalisme de Le Roy sur les théories et le conventionnalisme de Popper en ce qui concerne les propositions de base. À cet égard, les scientifiques ne sont pas irrationnels lorsqu'ils ont tendance à ignorer les contre-exemples et à suivre la séquence de problèmes, comme le prescrivent les heuristiques positives.

La *méthodologie* de Lakatos a été considérée à juste titre comme une tentative de réconcilier la falsifiabilité de Popper avec les vues de Thomas Kuhn. Popper considérait la science comme consistant en des croyances explicatives audacieuses et des réfutations dramatiques qui ont conduit à de nouvelles hypothèses. Kuhn (et Polanyi devant lui) a contesté cela. Lakatos a proposé un terrain d'entente, dans lequel les instruments socio-psychologiques de Kuhn ont été remplacés par des instruments logico-méthodologiques. N'est pas évaluée une théorie isolée, mais plutôt le « programme de recherche » dans lequel cette théorie est générée à partir d'une série de théories testables. Chaque théorie a un noyau dur protégé par une « ceinture de protection » d'hypothèses auxiliaires. Lorsqu'une certaine théorie est rejetée, les adhérents du programme ne blâment pas les hypothèses de base, considérées comme « incontestables par *fiat* », mais les hypothèses de la « ceinture de protection » (heuristique négative) qui sont modifiées pour faire face au problème. Ces changements sont guidés par les principes heuristiques positifs du

programme. Un programme avance théoriquement si la nouvelle théorie résout l'anomalie et est vérifiable indépendamment en faisant de nouvelles prédictions, et progresse empiriquement si au moins une de ces nouvelles prédictions est confirmée. Un programme peut progresser, à la fois théoriquement et empiriquement, même si chaque théorie produite en son sein est rejetée. Un programme dégénère si ses théories successives ne sont pas théoriquement progressives (parce qu'elles ne prédisent pas de nouveaux faits) ou ne sont pas empiriquement progressives (parce que de nouvelles prédictions sont rejetées).

La philosophie de Lakatos combine les idées de Hegel, Po'lya et Popper dans un équilibre intéressant, dans lequel les lacunes d'une approche sont atténuées ou compensées par les forces de l'autre. Le faillibilisme de Popper atténue l'autoritarisme de Hegel. L'irrationalité de la découverte est remplacée par l'idée de rationalité qui est dynamiquement déployée et bien structurée. Le subjectivisme de Po'lya est remplacé par le processus « aliéné » de Hegel. Ce n'est pas seulement une mosaïque philosophique. Lakatos a utilisé des outils puissants pour résoudre le problème de la rationalité de la science et de l'évolution des théories.

Bibliographie

Bohr, Niels. 1913. "On the Constitution of Atoms and Molecules, Part I." *Philosophical Magazine* 26: 1–25.

Komatsu, Kotaro. 2012. "Lakatos' Heuristic Rules as a Framework for Proofs and Refutations in Mathematical Learning: Local-Counterexample and Modification of Proof | Request PDF." ResearchGate. 2012. https://www.researchgate.net/publication/286440840_Lakatos'_heuristic_rules_as_a_framework_for_proofs_and_refutations_in_mathematical_learning_Local-counterexample_and_modification_of_proof.

Lakatos, Imre. 1976. "Proofs and Refutations Edited by Imre Lakatos." Cambridge Core. 1976. https://doi.org/10.1017/CBO9781139171472.

———. 1978. "The Methodology of Scientific Research Programmes." Cambridge Core. 1978. https://doi.org/10.1017/CBO9780511621123.

Laplace, Pierre-Simon. 1796. *Exposition Du Systeme Du Monde*. First Edition edition. Cercle-Social.

Polya, G. 1990. *Mathematics and Plausible Reasoning, Volume 1: Induction and Analogy in Mathematics*. Reprint edition. Princeton, N.J: Princeton University Press.

Popper, Karl. 2002. *Conjectures and Refutations: The Growth of Scientific Knowledge*. 2nd edition. London ; New York: Routledge.

Popper, Karl Raimund. 2002. *The Logic of Scientific Discovery*. Psychology Press.

Thagard, Paul R. 1978. "Why Astrology Is a Pseudoscience." *PSA: Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association* 1978: 223–234.

Whittaker, Edmund Taylor. 1960. *A History of the Theories of Aether and Electricity*. Harper.